

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-211342

(43)Date of publication of application : 20.08.1996

(51)Int.Cl.

G02F 1/025  
G02B 6/122  
H01S 3/18

(21)Application number : 07-016642

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 03.02.1995

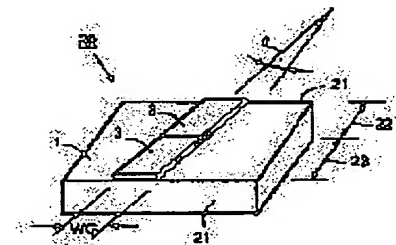
(72)Inventor : TAKANO HIDEAKI  
SANO HIROHISA  
KANETAKE TATSURO  
OHIRA MASATERU  
SUZUKI MAKOTO  
INOUE HIROAKI

## (54) SEMICONDUCTOR OPTICAL FUNCTION ELEMENT

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To make it possible to lower end face reflectivity and to lessen the coupling loss with fibers by providing the above element with a mode conversion region having end faces diagonal with a direction for guiding light.

**CONSTITUTION:** This semiconductor optical function element 20 is constituted by providing the optical function part 22 on a substrate 1 laminated with a buffer layer of InP, etc., on a semiconductor substrate of InP, etc., with a waveguide type light emitting element 2 laminated with an active layer (core layer) of InGaAsP, etc., a clad layer of InP, etc., and a contact layer of InGaAsP, etc., and a waveguide 3 laminated with a core layer of InGaAsP, etc., and a clad layer of InP, etc., for changing a beam spot diameter in the state of plane waves to the mode conversion region 23 by inclining both at an angle  $\theta$  with the normal direction of the end faces 21 of the substrate 1. The beam spot diameter is expanded in the case of the guided light from the optical function part 22 toward the fiber to be connected. The beam spot diameter is reduced in the case of the guided light from the fiber to be connected toward the optical function part 22.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/025				
G 0 2 B 6/122				
H 0 1 S 3/18				
			G 0 2 B 6/ 12	A
審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 13 頁)				

(21) 出願番号 特願平7-16642  
 (22) 出願日 平成7年(1995)2月3日

(71) 出願人 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
 (72) 発明者 鷹野 秀明  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 (72) 発明者 佐野 博久  
 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地  
 株式会社日立製作所中央研究所内  
 (72) 発明者 金武 達郎  
 埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会  
 社日立製作所基礎研究所内  
 (74) 代理人 弁理士 蔦田 利幸

最終頁に続く

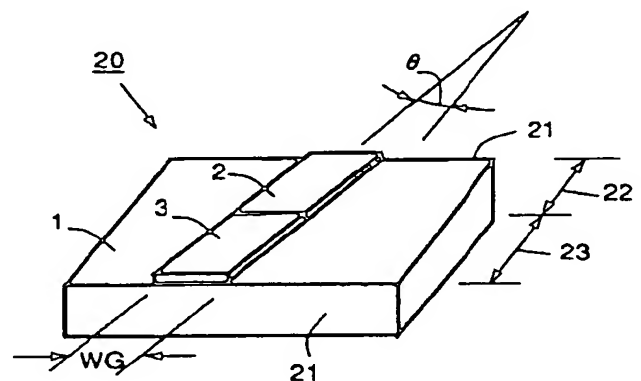
(54) 【発明の名称】 半導体光機能素子

(57) 【要約】

【目的】 端面の反射率を低減できると共に、ファイバとの結合損失を小さくできる半導体光機能素子を、その製造工程を複雑化することなく得る。

【構成】 半導体基板上にバッファ層及び活性層等を積層した基板1の光機能部22に導波路型発光素子2と、モード変換領域23にビームスポット径を変化させる導波路3を設ける。この時、導波路3は端面21の法線方向に対して角度 $\theta$ だけ斜めにして設けて、発光機能を有する半導体光機能素子20を構成する。

図1



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】半導体基板上に形成された光機能部の入射端面および／または出射端面に導波光のビーム径を変化させるモード変換領域を備えると共に、モード変換領域のファイバと接続される側の端面を、光の導波方向に対して斜めに設けたことを特徴とする半導体光機能素子。

【請求項 2】前記光機能部とモード変換領域とを構成する層の一部である活性層の近傍に、該活性層に比べてバンドギャップ波長が短いガイド層を更に設けて成る請求項 1 記載の半導体光機能素子。

【請求項 3】半導体基板上に形成された光機能部の入射端面および／または出射端面に曲がり導波路を介して導波光のビーム径を変化させるモード変換領域を備えると共に、モード変換領域のファイバと接続される側の端面を、光の導波方向に対して斜めに設けたことを特徴とする半導体光機能素子。

【請求項 4】前記光機能部と曲がり導波路とモード変換領域とを構成する層の一部である活性層の近傍に、該活性層に比べてバンドギャップ波長が短いガイド層を更に設けて成る請求項 3 記載の半導体光機能素子。

【請求項 5】前記光機能部が光増幅器として機能するように構成される請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の半導体光機能素子。

【請求項 6】前記光機能部が半導体レーザとして機能するように構成される請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の半導体光機能素子。

【請求項 7】前記光機能部が複数の導波路を有する導波路型光スイッチとして機能するように構成されると共に、前記モード変換領域が前記複数の導波路の各々に設けられて成る請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の半導体光機能素子。

【請求項 8】前記複数の導波路の各々に設けられたモード変換領域のビーム広がり角度が、導波路ごとに異なるように形成されて成る請求項 7 記載の半導体光機能素子。

【請求項 9】前記モード変換領域に電流注入構造を更に設けて成る請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の半導体光機能素子。

【請求項 10】前記モード変換領域は、導波路の大きさを光の伝播方向に沿って徐々に変化させて成る請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の半導体光機能素子。

【請求項 11】前記モード変換領域は積層構造の導波路から構成され、該導波路の積層面内の大きさを光の伝播方向に沿って徐々に変化させて成る請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の半導体光機能素子。

【請求項 12】前記モード変換領域は積層構造の導波路から構成され、該導波路の積層方向の大きさを光の伝播方向に沿って徐々に変化させて成る請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の半導体光機能素子。

【請求項 13】前記モード変換領域は積層構造の導波路

2

から構成され、該導波路の積層面内および積層方向の大きさを共に光の伝播方向に沿って徐々に変化させて成る請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の半導体光機能素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体レーザや半導体光増幅器、これらを集積した集積化光源や光スイッチ及び光変調器などの半導体光機能素子に係り、特に端面反射率を低減できると共にファイバとの結合損失を小さくできる半導体光機能素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】この種の半導体光機能素子は光通信や情報処理などに用いられるが、反射戻り光による特性の劣化が大きな問題となるため、従来から端面反射率を低減する構造が種々提案されてきた。その代表的な例に、窓構造および斜め導波路構造がある。

【0003】前者は、図 14 (a) の概略図に示すように、半導体レーザ又は半導体増幅器などの半導体光機能素子 30 の活性領域 31 の端面とデバイス端面 35 との間に、活性領域よりもバンドギャップの大きい材料で形成した窓領域と呼ばれる領域 32 を設けることにより、端面反射率を低減する構造である。活性領域 31 内の導波路 33 を導波した導波光 34 は、活性領域端面からレーザ光として出射される。窓領域 32 はレーザ光を吸収しない透明領域となるため、レーザ光は導波路 33 を形成していない窓領域 32 内を回折効果によりビームスポット径を広げながら反射面となるデバイス端面 35 まで伝播し、透過光 36 として出射される成分と、反射面によって反射される成分すなわち反射光 37 (図中、不完全な球面波として 2 点鎖線で示す。) に別れる。この反射光 37 は、進行方向が反転して再び活性領域 31 に向かってビームスポット径を広げながら伝播する。従って、入射ビームと反射ビームとの重ねあわせ積分によって定義される反射率は、反射ビーム径が拡大されていることにより低減される。尚、図 14 (a) において参照符号 40 は広がって入射して来る不完全な球面波の透過光 36 を平行光に変えるレンズ、50 は入射端面が平坦なフラットファイバ、51 はファイバのクラッド部、52 はファイバのコア部を示し、コア部内の等間隔の実線はコア部内を進む光の平面波を表わしたものである。

【0004】このような窓領域を備えた半導体光機能素子としては、例えば、エレクトロニクスレターズ、1989 年 8 月 31 日、第 25 巻、第 18 号、第 1241～1242 頁 (ELECTRONICS LETTERS 31st August 1989 Vol. 25 No. 18 pp. 1241-1242) に記載された半導体光増幅器がある。この半導体光増幅器は、InGaAs 活性層の両端に各々  $35\mu\text{m}$  と  $55\mu\text{m}$  の InP 窓領域を形成し、反射率 1% 程度の無反射膜と組み合わせることにより平均端面反射率 0.06% を達成している。すなわ

3

ち、無反射膜だけによる端面反射率 1 % の場合に比べて、窓構造により端面反射率を更に 1 桁以上低減している。

【0005】また、後者の斜め導波路構造は、図 15 の概略図に示すように、半導体レーザまたは半導体光増幅器などの半導体光機能素子 30 内の活性層を含むストライプ状導波路 38 を、デバイス端面 35 に対して 90° からずらして斜めに設けることにより、端面反射率を低減する構造である。このようにすることにより、斜め導波路 38 を導波した導波光 34 はデバイス端面 35 から透過光 36 として出射されると共にデバイス端面 35 すなわち反射面によって反射される成分があるが、反射光 37 のほとんどが端面に垂直な法線に対して導波路と対称な方向に生じるため反射光は伝播せず、従って入射ビームと反射ビームとの重ね合わせ積分によって定義される反射率は低減される。

【0006】このような斜め導波路を備えた半導体光機能素子としては、例えば、エレクトロニクスレターズ、1987 年 9 月 10 日、第 23 巻、第 19 号、第 990 ~ 991 頁 (ELECTRONICS LETTERS 10th September 1987 Vol. 23 No. 19 pp. 990-991) に記載されたレーザ増幅器がある。このレーザ増幅器は、InGaAsP 活性層を含む導波路をへき開面に対して 7° 傾けることによって、導波路と反射面との成す角度を 90° から 7° ずらし、無反射膜を用いずに平均端面反射率 0.2 % を達成している。すなわち、斜め導波路構造により、無反射膜を用いない場合の通常の端面反射率 30 % 程度に対して、端面反射率を 2 桁以上低減している。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述した導波構造を形成していない窓領域内をビームスポット径を広げながら反射面まで伝播することを利用して反射率を低減する窓構造を設ける場合は、図 14 (a) ,

(b) に示したように、球面波の透過光 36 を平面波に変換するレンズ 40 を介してフラットファイバ 50 に接続するか、もしくは先球ファイバ 55 を用いる必要がある。すなわち、ファイバとの接続にレンズ系を必要とするためコストが高くなる難点がある。更に、通常用いるレンズは、完全な球面波を完全な平面波に変換するものであるが、導波路 33 から出射する場合は点光源ではなく面光源となるので、その分透過光 36 は不完全な球面波となり、不完全な分、シングルモードファイバとの結合損失が生じるという問題点がある。前述した窓構造を有する半導体光増幅器の例によれば、窓構造の導入により端面反射率を 1 桁以上低減しているけれども、ファイバとの結合損失は通常の 3 dB と比べて各端面につき 5 dB であり、改善されていない。また、窓構造の作製には埋込み成長を行い、劈開して形成する必要があるが、この埋込み成長および劈開による窓領域の長さの制御といったプロセス技術はいずれも困難な部類に属するた

4

め、歩留まりが低下するという難点もある。

【0008】一方、前述した後者の斜め導波路構造を設ける場合、斜め導波路構造の反射率の低減の効果は導波路幅のほぼ 2 乗に比例して大きくなるが、消費電力は導波路幅に比例して増加する難点がある。すなわち、低消費電力となる導波路幅は通常 1  $\mu$  m 程度であり、この導波路幅では無反射化の効果は小さく、斜めにする角度を大きくする必要がある。その場合、スネルの屈折法則に従って、端面からの出射光の、端面法線からのずれも大きくなり、ファイバとの結合がとりにくく上に、図 15 に示したように、この場合も窓構造の場合と同様にレンズ系を用いてコストが高くなり、しかも透過光 36 が不完全な球面波で、かつ、出射光強度分布も斜めに射出するため円形状からずれるので、その分さらに結合損失が大きくなるという問題点がある。前述した斜め導波路構造を有するレーザ増幅器の例によれば、斜め導波路構造の導入により、端面反射率を 2 桁以上も低減できたけれども、導波路幅が約 5  $\mu$  m となっているため、通常の 1  $\mu$  m 導波路幅に比べて約 5 倍の消費電力を必要としているだけでなく、端面からの出射光が端面に垂直な法線に対して 24° も傾いてしまうため、ファイバとの結合損失は各端面につき 7 dB と、通常の 3 dB に比べて改善されていない。また、斜め導波路を形成するには、ドライエッチングやウエットエッチングで形成する必要があるが、導波路における伝播損失を低くするため異方性を有するドライエッチングやウエットエッチングで形成することが多い。このような異方性エッチング技術は面方位の影響を受けやすく、このため、斜めにする角度が大きくなれば、それだけ所望の構造を形成することが困難になるという問題点もある。

【0009】そこで、本発明の目的は、作製工程を複雑化すること無く、端面の反射率を低減できると共にファイバとの結合損失を小さくできる半導体光機能素子を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明に係る半導体光機能素子は、上記の目的を達成するため、半導体基板上に形成された光機能部すなわち光増幅器や半導体レーザ或いは導波路型光スイッチなどの光機能を構成する部分の入射端面および/または出射端面に導波光のビーム径を変化させるモード変換領域を備えると共に、このモード変換領域のファイバと接続される側の端面を、光の導波方向に対して斜めに設けたことを特徴とするものである。前記半導体光機能素子において、光機能部とモード変換領域とを構成する層の一部である活性層の近傍に、この活性層に比べてバンドギャップ波長が短いガイド層を更に設ければ好適である。

【0011】或いは、本発明に係る半導体光機能素子は、半導体基板上に形成された光機能部すなわち光増幅器や半導体レーザ或いは導波路型光スイッチなどの入射

5

端面および／または出射端面に曲がり導波路を介して導波光のビーム径を変化させるモード変換領域を備えると共に、モード変換領域のファイバと接続される側の端面を、光の導波方向に対して斜めに設けるように構成してもよい。この場合も、前記光機能部と曲がり導波路とモード変換領域とを構成する層の一部である活性層の近傍に、この活性層に比べてバンドギャップ波長が短いガイド層を更に設けることができる。

【0012】また、前記光機能部を複数の導波路を有する導波路型光スイッチとして機能するように構成すると共に、前記モード変換領域を前記複数の導波路の各々に設けるように構成してもよい。この場合、前記複数の導波路の各々に設けられたモード変換領域のビーム広がり角度が、導波路ごとに異なるように形成すれば好適である。

【0013】更に、前記モード変換領域に電流注入構造を設けることができる。また、前記モード変換領域は、導波路の大きさを光の伝播方向に沿って徐々に変化させて構成すれば好適である。前記モード変換領域が積層構造の導波路から構成される場合、この導波路の積層面内および／または積層方向の大きさを光の伝播方向に沿って徐々に変化させてモード変換領域を構成してもよい。

【0014】

【作用】本発明に係る半導体光機能素子によれば、光の導波方向に対して斜めの端面を有するモード変換領域は、平面波のまま導波光のビーム径を変化、すなわち光機能部から接続されるファイバ方向への導波光の場合はビームスポット径を拡大し、或いは接続されるファイバから光機能部方向への導波光の場合はビームスポット径を縮小するので、従来の斜め導波路構造による反射率低減効果を更に大きくすることができると共に、従来例のように球面波を平面波に直すレンズ系が不要となる。

【0015】また、モード変換領域を設けたことにより、光機能部として半導体レーザや光増幅器を構成した場合、導波路幅を消費電力が小さくできる $1\mu\text{m}$ 程度としたままで、デバイス端からの透過光のビーム径を、実用的な $1\%$ 以下の反射率が得られる $5\mu\text{m}$ 以上にすることができる。

【0016】さらに、活性層の近傍に設けた、この活性層よりもバンドギャップ波長が短いガイド層は、導波光の発散を防止して導波路方向に概略揃える働きがあるので、放射損失を少なくしてモード変換領域における導波光のビーム径の変更を行うことができる。光機能部とモード変換領域とを曲がり導波路を介して接続することにより、エッチングに面方位依存性がある光機能部を斜め導波路構造にしたい場合でも、モード変換領域を斜め導波路構造とすることができる。

【0017】光機能部を複数の導波路を有する導波路型光スイッチとして機能するように構成し、モード変換領域を複数の導波路の各々に設けることにより、導波路型

6

光スイッチとファイバとの接続面における反射率が低減すると共に、結合損失を低減することができる。この場合、更に各モード変換領域のビーム広がり角度を導波路ごとに異なるように形成することにより、接続されるフラットファイバの端面を揃えた通常の低コストの平行ファイバ束を用いることができる。

【0018】モード変換領域に電流注入構造を設けることにより、導波光の吸収を少なくしてモード変換領域における損失を補償することができる。モード変換領域における導波路の大きさを光の伝播方向に沿って徐々に変化させることにより、例えばモード変換領域が積層構造の導波路から構成されている場合には導波路の積層面内および／または積層方向の大きさを光の伝播方向に沿って徐々に変化させることにより、平面波を維持したまま導波光のビーム径を変えることができる。このようなモード変換領域を形成するためには、周知の選択領域成長技術、例えば有機金属気相成長(MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition)又はMOVPE: Metal Organic Vapor Phase Epitaxy)法を用いて、成長前に選択成長用 $\text{SiO}_2$ マスクを予め形成しておくだけで良いので、作製工程が複雑化せず、歩留まりが低下することもない。また、斜めにする端面の角度が小さくて済むので斜め導波路形成時のエッチング工程において面方位の影響を受けることもなく作製プロセスが容易となる。更に、無反射コート膜の膜厚誤差を緩く設定しても反射率を十分に低くできるので、作製プロセスが容易となる。

【0019】

【実施例】次に、本発明に係る半導体光機能素子の実施例につき、添付図面を参照しながら以下詳細に説明する。

【0020】＜実施例1＞図1は、本発明に係る半導体光機能素子の一実施例を示す斜視図である。図1において、参照符号1は基板を示し、この基板1は実際にはInP等の半導体基板上にInP等のバッファ層を積層したものであるが、図中では省略してある。この基板1上の光機能部22にInGaAsP等の活性層(コア層)、InP等のクラッド層およびInGaAsPなどのコンタクト層を積層した導波路型発光素子2と、モード変換領域23に平面波のままビームスポット径を変化させるInGaAsPなどのコア層およびInPなどのクラッド層を積層した導波路3とを、基板1の端面21の法線方向に対して角度 $\theta$ だけ斜めにして設けて半導体光機能素子20を構成する。また、図1の構成の場合、すなわち、コア層の側面が露出したリッジ型導波路構造の場合、導波光は導波路3の直下の基板1の深さ方向へビームスポット径を広げながら端面21方向へ導波する。

【0021】このような構成を有する本実施例の半導体光機能素子の効果を確認するために、レーザ光を端面に対して $1^\circ \sim 9^\circ$ まで傾けて照射した際の実効的な端面

7

反射率のビームスポット径依存性を、3次元BPM (Beam Propagation Method) 法により計算した結果を図2に示す。計算で使したパラメータは、通常の半導体レーザ (波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ ) を考慮してコア層の屈折率を3.38、コア層の厚さを $0.3 \mu\text{m}$ 、クラッド層の屈折率を3.17とし、コア層の幅すなわち図1における導波路幅WGを $0.5 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ まで変化させた。尚、ビームスポット径は光強度がピーク値から $1/e^2$ になる幅であるが、コア層の側面が露出する場合にはこの幅は導波路幅WGに略等しい。

【0022】図2によれば、従来の典型的なシングルモードの導波路幅WG =  $1 \mu\text{m}$ 、 $\theta = 7^\circ$ の斜め導波路によって得られる端面反射率は、17.6% (同図中に、●で示す) であるが、このビームスポット径を例えば $5 \mu\text{m}$ に広げた場合、同じ端面反射率は $\theta = 3$ 度以下 (同図中に、一で示す) の斜め導波路で得られ、 $\theta = 7^\circ$ のままであれば1%以下の端面反射率 (同図中に、↓で示す) を得られることが分かる。従って、図1の本実施例の半導体光機能素子20において $\theta = 7^\circ$ の角度に設定しても、モード変換領域23に設けたビームスポット径を変化させる導波路3によって、発光素子2から出射された $1 \mu\text{m}$ のビームスポット径が端面21において $5 \mu\text{m}$ に広がっていれば、同じ導波路幅 (=  $1 \mu\text{m}$ ) でかつ同じ角度の斜め導波路構造を有する従来の半導体光機能素子に比べて1桁以上の反射率低減を実現することができる。また、導波路3によりモード変換領域23からは、平面波のままビームスポット径を拡大して出射するので、ファイバと接続する場合に球面波を平面波に直すレンズ系が不要となり、フラットファイバだけで良く、構成が簡単になる。更に、導波路型発光素子2の導波路から面光源として出射しても、ほぼ完全な平面波となってファイバに入射するので、ファイバとの結合損失が小さい。端面21に対して導波構造が垂直な場合 ( $\theta = 0^\circ$ )、結合損失は1dB以下にすることができるが、本実施例の半導体光機能素子20では反射率を低減するために斜めにしているのが、若干影響を受けるが、 $\theta = 3^\circ$ 程度までなら垂直な場合とはほぼ同じ1dB以下にでき、 $\theta = 7^\circ$ でも2dB程度と従来に比べて小さい。すなわち、斜め導波路構造による反射率低減効果を著しく増大できると共に、ファイバとの結合損失も小さくすることができる。また、導波路型発光素子2の導波路幅を $5 \mu\text{m}$ に広げなくとも $1 \mu\text{m}$ 程度の幅で端面反射率1%以下が得られるので、導波路幅を $5 \mu\text{m}$ とした場合の消費電力の $1/5$ 程度の低消費電力で低反射率化が図れる。そして、導波路の角度 $\theta$ を小さくできる分、斜め導波路形成時のエッチング工程において面方位の影響を受けにくくなるので、作製プロセスも容易である。

【0023】図示はしないが、本実施例を従来の無反射コート膜との併用による反射率低減方法に適用すれば、本実施例による反射率低減効果が大きいので、無反射コ

8

ート膜が不必要もしくは無反射コート膜の屈折率、膜厚誤差を従来よりも緩く設定することができる。したがって、前者の場合は作製プロセスが1つ減り、後者の場合は必ずしも膜厚モニタ付属の精巧な成膜装置を用いなくても、所望の低い反射率を得られ、作製プロセスが容易となる。特に、反射率の低減はスポットサイズに比例して増大するため、導波路型発光素子2の導波路幅を $1 \mu\text{m}$ としても、モード変換領域によって $10 \mu\text{m}$ 程度までスポットサイズを広げるならば、端面反射率1%程度を導波路の角度 $\theta$ が $4^\circ$ 程度で実現でき、ファイバとの結合損失も2dBにすることも可能である。これは、フラットファイバのコア径は通常 $10 \mu\text{m}$ 程度であるので、モード変換領域によってスポットサイズが $10 \mu\text{m}$ になればファイバのコア径と等しくなり、ファイバとの結合損失を小さくできるからである。

【0024】もちろん、従来の反射率低減方法と組み合わせることにより、従来では実現できなかった低い反射率を実現することができることは明らかである。尚、モード変換領域23の導波路3を形成するためには、周知の選択領域成長技術、例えば有機金属気相成長法を用いて、成長前に選択成長用マスクをあらかじめ形成しておくだけで良く、作製工程が複雑化せず、歩留りが低下することもない。

【0025】<実施例2>図3は、本発明に係る半導体光機能素子の別の実施例を示す斜視図である。尚、図3においては、実施例1の図1で示した構成部分と同じ部分については同一の参照符号を付して、その詳細な説明を省略する。すなわち、本実施例の半導体光機能素子20は、基板1上に光機能部22に斜め導波路型光増幅器4を形成し、光機能部22の両側にモード変換領域23、23を設けて、それぞれのモード変換領域にビームスポット径を変化させる導波路3、3を入射端面21、21に対して角度 $\theta$ だけ傾けて形成している点が実施例1と相違する。

【0026】このように構成することによっても、実施例1で述べたのと同様の効果を得ることができる。従って、斜め導波路構造による反射率低減効果の増大と、ファイバとの結合損失の低減、低消費電力等を図った光増幅器機能を有する半導体光機能素子を得ることができる。尚、入射端面のモード変換領域に設けた導波路3は、入射端面に例えばファイバ (不図示) から入射される光のビームスポット径を縮小して光増幅器4へ導波し、出射端面のモード変換領域に設けた導波路3は光増幅器から出射されるビームスポット径を拡大しながら出射端面21へ導波する。

【0027】また、同様の効果を得るためには、必ずしもモード変換領域23、23を光機能部22に近接して設ける必要はなく、図4に示すように曲がり導波路5などで接続しても良い。この場合は、素子形成プロセスにおいて、例えばエッチングに面方位依存性があり、光機

能部 22 に形成する素子を斜め導波路構造にしたい場合には好適である。

【0028】更にまた、同様の効果を得るためには、必ずしも斜め導波路構造の劈開面である端面 21 を利用する必要はなく、図 5 に示すように、通常のホテルソングラフィと、ドライまたはウェットエッチング工程により、導波路方向と斜めになるように端面 21a, 21a を形成してもよい。

【0029】＜実施例 3＞図 6 は、本発明に係る半導体光機能素子の更に別の実施例を示す斜視図であり、活性層側面が露出するリッジ型導波路構造に適用した場合である。図 6 において参照符号 10 は InP 基板を示し、この InP 基板 10 上に InP バッファ層 11 が設けられ、更に InP バッファ層 11 上に、光機能部 22 とこの部分を挟むモード変換領域 23, 23 には InGaAsP 活性層 12、InP の上部クラッド層 13、InGaAsP コンタクト層 14 が順次積層された構造で活性層 12 の側面が露出したリッジ型の導波路構造が設けられている。そして、全面を覆うように絶縁膜のポリイミド膜 16 が設けられ、光機能部 22 には p 電極 17 が設けられている。本実施例の場合、光機能部 22 は光増幅器として機能するように形成される。また、モード変換領域 23, 23 は、積層方向の厚さすなわち導波路幅が光機能部 22 からそれぞれの端面 21, 21 に向かって徐々に薄くなるように構成されていると共に、端面 21 に垂直な法線に対して水平方向に  $\theta$  の角度で斜めに設けられている。

【0030】以下、このように構成される本実施例の半導体光機能素子 20 の製造方法を、図 7～図 10 を用いて説明する。この製造方法は、周知の選択領域成長技術を用いることにより、プロセスを複雑化することなく、本実施例の半導体光機能素子を製造できる方法の一つである。

【0031】図 7 (a) は平面図であり、(b) は同平面図に A-A' 線で示した部分の断面図、(c) は B-B' 線で示した部分の断面図、(d) は C-C' 線で示した部分の断面図である。以下、各図において (a)～(d) は、同様に同じ部分の平面図および断面図を示す。先ず、各断面図 (b)～(c) に示すように、MOCVD 法により InP 基板 10 上にバッファ層 11 となる InP を成長する。

【0032】次に、図 8 において、InP バッファ層 11 上に SiO<sub>2</sub> 層を堆積した後、通常のホテルソングラフィ技術によりエッチング加工して選択領域成長用 SiO<sub>2</sub> マスク 15 を形成する。次いで、InGaAsP の活性層 12、InP の上部クラッド層 13、および InGaAsP のコンタクト層 14 を MOCVD 法により順次成長して積層構造を形成する。この時、同図 (a)～

(d) から分かるように SiO<sub>2</sub> マスク 15 上には成長せず、InP バッファ層 11 が露出した部分だけに選択

的に成長する。しかも SiO<sub>2</sub> マスク 15 の幅の広いところでは成長速度が大きく、幅の狭いところでは成長速度が小さいという性質があるため、モード変換領域 23, 23 は導波路に沿って厚さが徐々に薄く形成される。このような選択領域成長技術に関しては、例えば、青木等による信学技法 MW94-33, OPE94-26 (1994-06), 第 67～72 頁の「選択 MOVPE による基板面内膜厚制御法を用いた光変調器集積波長多重光源」に記載された成長技術があり、これを用いることができる。

【0033】次に、図 9 において、絶縁膜としてポリイミド膜 16 で表面を被覆した後、光増幅器となる光機能部 22 に、通常のホテルソングラフィ技術により窓 27 を開け、同図 (a), (b) に示すように、CF<sub>4</sub> プラズマエッチングによって選択的にポリイミド膜 16 を除去する。

【0034】最後に、図 10 において、例えば、Au/Ti 等の金属を真空蒸着した後、ホテルソングラフィ技術により同図 (a) に示すようにパターンニングして、p 電極 17 を形成する。尚、本実施例では、説明の便宜上、半導体光機能素子 20 を最初から直方体の基板 10 を用いたような図で示したが、実際には通常の間形状のウエハを用い、最後に劈開により直方体に形成することは言うまでもない。また、図では省略したが、例えば、Au/Pt/Ti 等の金属を真空蒸着して基板 10 の裏面に n 電極を形成するのは勿論である。

【0035】このように、図 7～図 10 で示した製造方法によれば、通常の前導体光増幅器構造の製造プロセスとなんら変わることなく、モード変換領域 23 を集積化することができる。さらに、本実施例の前導体光増幅器を備えた半導体光機能素子 20 は、実施例 2 の図 3 に示した半導体光機能素子と同様に、反射率の低減およびファイバとの結合損失の低減、低消費電力等の効果を奏する。また、p 電極 17 から注入された電流は、モード変換領域 23, 23 にも注入される構造となっているので、モード変換領域における導波光の吸収を少なくして損失を補償することができる。

【0036】以上の説明では、モード変換領域 23, 23 と光機能部 22 の光増幅器とを同時に作製し、通常の前導体光増幅器構造の成長プロセス数と同じにしたが、モード変換領域 23, 23 を光機能部 22 と同時に作製せずに、別々に作りつけても良い。この場合は、光機能部 22 の光増幅器に選択的に電流が注入されるため、消費電力を更に小さくすることができる。また、光機能部 22 に半導体光増幅器の代わりに、半導体レーザを形成しても良いことは勿論である。

【0037】さらに以上の説明では、モード変換領域 23, 23 のビームスポット径を変化させる導波路として、導波路幅が積層方向に変わる例を示したが、図 11 (a)～(d) に示すように積層面内で導波路幅を変え



ることにより実現してもよい。この場合、選択領域成長を行う必要がなく、通常のフォトリソグラフィの際に、ホトマスク形状を修正するだけででき、プロセスの複雑化は全くないまま、本発明の半導体光機能素子を実現することができる。

【0038】勿論、図12(a)～(d)に示すように、モード変換領域23、23の導波路幅を、積層方向と積層面内との2つを変化させる方法を同時に行うことにより本発明の半導体光機能素子を実現しても良い。この場合、積層方向、並びに積層面内方向の両方において、前述した反射率の低減およびファイバとの結合損失の低減、低消費電力等の効果が増強される。また、これらの効果とともに、入出射光の形状を円形状に近く制御することが可能なため、ファイバとの結合損失がゼロに近づき、より理想的になる。

【0039】更に、本実施例では、活性層12をバッファ層11の直上に設けているが、図13に示すように、活性層12の近傍に、この活性層12に比べてバンドギャップ波長が短いいわゆる光ガイド層18を設けることにより、光ガイド層18は導波光の発散を防止して導波路方向に概略揃える働きがあるので、放射損失を少なくしてモード変換領域における導波光のビーム径の変更をより適切に行うことができる。

【0040】また、本実施例では、リッジ型導波路構造で、活性層(コア層)側面が露出する場合について説明したが、図示はしないが、活性層(コア層)側面の露出しないリッジ型導波路構造、および埋込型導波路構造でも同様の効果が得られるのは、明らかである。

【0041】ここで図16を用いて、モード変換領域23が図11～図13に示した積層面内で導波路幅が徐々に変化している導波路構造を有する場合を例に作用・効果について更に詳細に説明する。図16は、半導体光機能素子20とこれに接続されるフラットファイバ50との出射端面における光路の様子を示す概略上面図である。

【0042】図16において、光機能部22の光増幅器24およびモード変換領域23の導波路28は、デバイス端面21に対して斜めに形成されている。また、導波路28は積層面内に導波路幅が変化している。光機能部22からの導波光26は、モード変換領域23を介してデバイス端面21から出射され、光ファイバ50へ入力される。このとき導波光26は、モード変換領域23の導波路28において、平面波のままそのビームスポット径が変わり、出射されるが、デバイス端面21に対して斜めに形成されると共にビーム径が広がっているので反射光25は光機能部22へ伝播せず、従来の斜め導波路だけの場合或いは窓構造だけの場合よりも更に端面反射率が低減する。すなわち、斜め導波路による端面反射率低減の増大効果がある。また、窓構造が不要であるから、埋込み成長工程を追加しなくても形成でき、歩留

まりが悪化することもない。更に、斜め導波路による端面反射率低減の増大効果により、所望の端面反射率を得るために必要な斜めの角度 $\theta$ が、半導体増幅器の導波路幅から予測される角度よりも小さくて済むので、結晶方位によりエッチング形状が異なる影響を、従来よりも小さくすることができ、所望の角度のデバイス構造を形成し易いという利点もある。

【0043】また、一般に半導体レーザや半導体増幅器への電流注入効率を上げて消費電力を小さくするためには、 $1\mu\text{m}$ 程度の導波路幅が良いが、 $1\mu\text{m}$ の導波路幅では、例えば $\theta=7^\circ$ の斜め導波路構造を用いただけでは、図2から分かるように端面反射率は18%程度にしかならず、導波路幅が $5\mu\text{m}$ 以上になってはじめて実用的な端面反射率1%以下が得られる。しかし、半導体レーザや半導体増幅器の導波路幅を $5\mu\text{m}$ にすると、 $1\mu\text{m}$ の場合よりも消費電力は5倍となる。これに対して本発明の半導体光機能素子は光機能部に形成する半導体レーザや半導体増幅器の導波路幅は、消費電力を小さくできる $1\mu\text{m}$ 程度の幅としたままで低反射率化が図れるので、消費電力を低減できる。

【0044】そして、モード変換領域23では、導波光26は平面波のままそのビーム径が変わるので、図14及び図15で示した従来例のように球面波を平面波に直すレンズ系が不要となり、フラットファイバだけで良く構成が簡単になる分コストが低減する。

【0045】また更に、モード変換領域23の導波路28では導波光26は平面波のままそのビーム径が変わり、透過光29として出射される。従って、光機能部22が面光源として出射されても、ほぼ完全な平面波となってファイバ50のコア部52に入射される。導波構造が劈開面すなわちデバイス端面21に対して垂直な場合には、ファイバとの結合損失を1dB以下にすることができるが、導波路28が端面21に対して斜めであるので、ビーム形状は斜めの効果をわずかに受けて、 $\theta=3^\circ$ 程度までならば端面21に対して垂直な場合とほぼ同じ結合損失1dB以下が得られ、 $\theta=7^\circ$ でも結合損失2dB程度を得ることができ、ファイバとの結合損失を従来例よりも小さくすることができる。尚、完全な平面波として出射した場合には、ビーム形状は、斜めの影響をまったく受けないが、実際にはわずかに不完全な平面波であるので、斜めの影響をわずかに受けるのである。

【0046】＜実施例4＞図17は本発明に係る半導体光機能素子の更に別の実施例を示す概略平面図であり、全反射型2×2クロスバー光スイッチに適用した場合である。なお、本実施例を理解し易くするために、本実施例の説明に先立ち、先ず、図18に従来の全反射型2×2クロスバー光スイッチを示し、その構成及び動作について説明する。

【0047】図18において、参照符号60は従来の全反射型2×2クロスバー光スイッチを示し、この光スイ



13

ツチ 60 は入力側の先球ファイバ 61 および 62 から入射した光を、出力側の先球ファイバ 63 または 64 のいずれかに任意に光路を切り替える半導体光機能素子である。例えば、入力側の先球ファイバ 61 から入射した光を出力側の先球ファイバ 63 または 64 のいずれかに切り替える場合について説明する。

【0048】入力側の先球ファイバ 61 から入射した光は、曲がり導波路 66a を導波した後、導波路 67a を導波し、電流注入部 68 に達する。ここで、先球ファイバ 63 に出射させる場合には、電流注入部 68 に電流を注入して局所的に屈折率を低下させる。これにより、導波路 67a からの光は電流注入部 68 により全反射され、導波路 69a 及び曲がり導波路 70a を導波して出力側の先球ファイバ 63 に出射される。また、先球ファイバ 64 に出射させる場合には、電流注入部 68 に電流を注入しなければ良い。その場合、導波路 67a からの光は電流注入部 68 を透過して電流注入部 71 に達する。電流注入部 71 には電流を注入して局所的に屈折率を低下させておき、全反射させる。このようにして、先球ファイバ 61 から入射した光は出力側の先球ファイバ 64 に出射される。ここで、曲がり導波路 66a 及び導波路 67a の伝播損失と、電流注入部 68、71 の反射損失及び透過損失とを補うために、導波路中に半導体光増幅器 72a が設けられている。この半導体光増幅器 72a がレーザ発振をしないようにするためには低端面反射率が必要であり、通常はデバイス 60 の端面に無反射膜を蒸着している。ここで他の入出力ポート 65 は使用しない。また、電流注入による局所的に屈折率を低下させる場合の屈折率低下量は高々 1% であることから、全反射角を  $5^\circ$  以上にすることができない。このため、通常の光スイッチ交差角度  $\phi$  は  $5^\circ$  であり、構造的な工夫を行っても  $10^\circ$  程度が限度である。このような半導体光増幅器が設けられた全反射型クロスバー光スイッチの従来例としては、例えば、アイ・イー・イー・イー ホトニクス・テクノロジー・レターズ、1994 年 2 月、第 6 巻、第 2 号、第 218~221 頁 (IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 6, NO. 2, FEBRUARY 1994, pp. 218-221) に記載されたものが挙げられる。

【0049】これに対して、図 17 に示したように、全反射型  $2 \times 2$  クロスバー光スイッチ機能を構成した本実施例の半導体光機能素子 80 は、図 18 に示した従来例と比べて、曲がり導波路部 RW1、RW2 を除いている点、及び入出射端面にビームスポット径を変化させる斜め導波路 73a、73b からなるモード変換領域 23、23 を設けている点が相違する。このモード変換領域 23 により、実施例 1~3 で述べたのと同様の低端面反射率、低結合損失、等の効果が得られる。従って、入出射側に接続されるファイバは、廉価なフラットファイバ 81~84 を使用することができる。更に、光スイッチの小型化が図れるという利点もある。従来、曲がり導波路

14

66a、66b は、導波光の曲がり損失を少なくするために、なるべく大きな半径で曲げていた。例えば、図 18 に示した全反射型クロスバー光スイッチ 60 の従来例では全長 L が 12mm に対して、曲がり導波路部 RW1、RW2 の占める部分は約 4mm である。これに対して本実施例では、曲がり導波路を使用せずに済むので、その分だけ小型化することができる。

【0050】図 19 及び図 20 は、図 17 に示した出射端面付近を拡大した図である。図 19 では、モード変換領域 23 の導波路 73a、73b から出射した 2 つの光は、わずかながらビーム径が拡がりながらそれぞれフラットファイバ 83、84 へ入射する。この際、2 つの導波路 73a、73b が全く同じ構造である図 19 のような場合には、導波路 73a、73b の各端面とそれぞれに対向するフラットファイバ 83、84 との距離は、それぞれ最も低い結合損失が得られるように同じ距離におかれる。

【0051】図 20 は、フラットファイバ 83 に入射するモード変換領域 23 の導波路 73a と、フラットファイバ 84 に入射するモード変換領域 23 の導波路 73b との構造を変えた場合を示している。すなわち、モード変換領域 23 の導波路 73a のビーム広がり角よりも、モード変換領域 23 の導波路 73b のビーム広がり角が小さくなるように、すなわちモード変換領域の導波路ごとに異なるビーム広がり角になるようにすれば、フラットファイバ 83、84 の端面を図 20 に示すように揃えても均一な結合効率を得ることができる。これにより、図 19 の場合のようなファイバ 83、84 の端面が少しずれた特殊なフラットファイバ束を用いることなく、通常の安価なフラットファイバ束をそのままの形で利用することによって、フラットファイバ 83、84 への均一な結合が可能となる効果がある。

【0052】以上、本発明の好適な実施例について説明したが、本発明は前記実施例に限定されることなく、本発明の精神を逸脱しない範囲内において種々の設計変更、例えば、材料系は InGaAsP 系に限ることなく、GaAs などの他の半導体材料系であっても、或いは活性層に多重量子井戸を採用してもよく、また、光機能部としては、半導体レーザや半導体光増幅器単体だけでなく、これらを集積した集積化光源や、光スイッチ、変調器、などであっても、同様になし得ることは勿論である。

【0053】

【発明の効果】 前述した実施例から明らかなように、本発明によれば、光機能部の入射端面及び/または出射端面に導波光のビーム径を変化させるモード変換領域としての導波路構造をファイバと接続される側の端面に対して斜めに設けることにより、従来の斜め導波路の端面反射率低減効果を更に大幅に向上することができる。また、反射率低減に必要な端面の角度が小さくて済む上

15

に、モード変換領域によるビームスポット径の拡大により、ファイバとの結合損失をも同時に低減することができる。更に、端面の角度の小さい斜め導波路構造、モード変換領域の集積化工程は、何ら複雑な工程を追加する必要がなく容易であり、良好な歩留が期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る半導体光機能素子の一実施例を示す斜視図である。

【図 2】本発明に係る半導体光機能素子の効果を確認するために、斜め導波路の角度をパラメータに反射率のビームスポット径依存性を示す特性線図である。

【図 3】本発明に係る半導体光機能素子の別の実施例を示す斜視図である。

【図 4】本発明に係る半導体光機能素子のまた別の実施例を示す斜視図である。

【図 5】本発明に係る半導体光機能素子の更に別の実施例を示す斜視図である。

【図 6】本発明に係る半導体光機能素子のまた更に別の実施例を示す斜視図である。

【図 7】図 6 に示した半導体光機能素子を実現する一製造方法を示す途中工程の図であって、(a) は平面図、(b) は同平面図に A-A' 線で示した部分の断面図、(c) は同じく B-B' 線で示した部分の断面図、(d) は同じく C-C' 線で示した部分の断面図である。

【図 8】図 7 (a) ~ (d) に示した各部分の次の途中工程における平面図及び断面図である。

【図 9】図 8 (a) ~ (d) に示した各部分の次の途中工程における平面図及び断面図である。

【図 10】図 9 (a) ~ (d) に示した各部分の次の途中工程における平面図及び断面図である。

【図 11】本発明に係る半導体光機能素子のまた別の実施例を示す図であって、(a) は平面図、(b) は同平面図に A-A' 線で示した部分の断面図、(c) は同じく B-B' 線で示した部分の断面図、(d) は同じく C-C' 線で示した部分の断面図である。

【図 12】本発明に係る半導体光機能素子の更に別の実施例を示す図であって、(a) は平面図、(b) は同平面図に A-A' 線で示した部分の断面図、(c) は同じく B-B' 線で示した部分の断面図、(d) は同じく C-C' 線で示した部分の断面図である。

【図 13】本発明に係る半導体光機能素子のまた更に別の実施例を示す図であって、(a) は平面図、(b) は同平面図に A-A' 線で示した部分の断面図、(c) は同じく B-B' 線で示した部分の断面図、(d) は同じく C-C' 線で示した部分の断面図である。

16

【図 14】窓構造を有する半導体光機能素子の従来例を示す図であって、(a) はフラットファイバと接続する場合の概略構成図、(b) は先端球ファイバと接続する場合の概略構成図である。

【図 15】斜め導波路構造を有する半導体光機能素子の従来例とそれに接続されるファイバを示す概略構成図である。

【図 16】本発明に係る半導体光機能素子とそれに接続されるファイバを示す概略構成図である。

【図 17】本発明に係る半導体光機能素子のまた別の実施例を示す平面図であって、全反射型 2×2 クロスバー光スイッチに適用した場合の概略構成図である。

【図 18】従来の全反射型 2×2 クロスバー光スイッチの概略構成を示す平面図である。

【図 19】図 17 に示した半導体光機能素子の出射端面の一例を示す拡大図である。

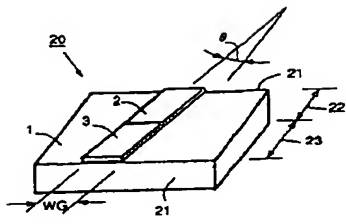
【図 20】図 17 に示した半導体光機能素子の出射端面の別の例を示す拡大図である。

【符号の説明】

- 1…基板、
- 2…導波路型発光素子、
- 3…導波路、
- 4…導波路型光増幅器、
- 5…曲がり導波路、
- 10…InP 基板、
- 11…InP バッファ層、
- 12…InGaAsP 活性層、
- 13…InP 上部クラッド層、
- 14…InGaAsP コンタクト層、
- 15…選択領域成長用 SiO<sub>2</sub> マスク、
- 16…ポリイミド絶縁膜、
- 17…p 電極、
- 18…InGaAsP 光ガイド層、
- 20, 80…半導体光機能素子、
- 21…デバイス端面、
- 21a…端面、
- 22…光機能部、
- 23…モード変換領域、
- 24…光増幅器、
- 25…反射光、
- 26…導波光、
- 27…窓、
- 28…導波路、
- 29…透過光、
- 72a, 72b…半導体光増幅器、
- 73a, 73b…斜め導波路。

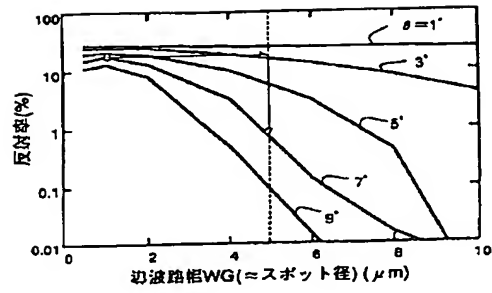
【図 1】

図 1



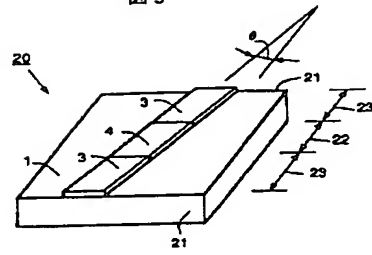
【図 2】

図 2



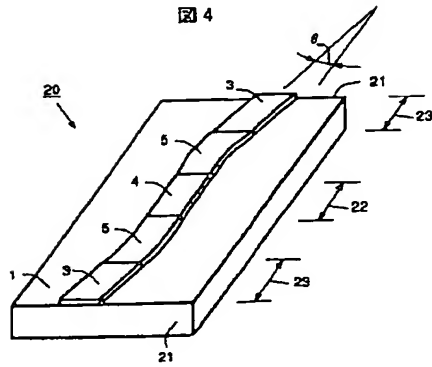
【図 3】

図 3



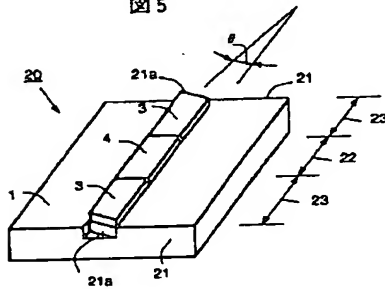
【図 4】

図 4



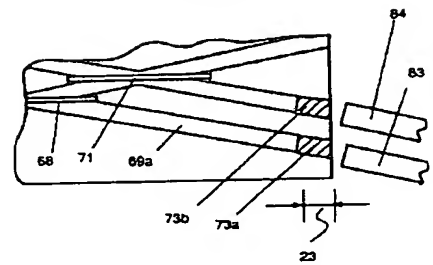
【図 5】

図 5



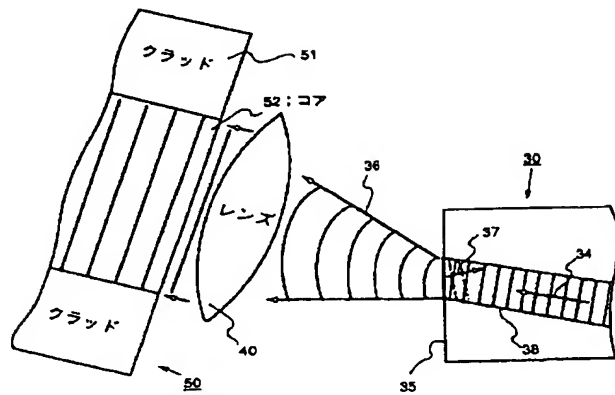
【図 19】

図 19



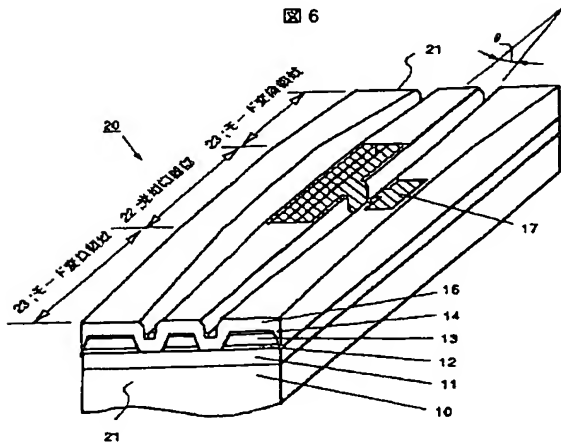
【図 15】

図 15



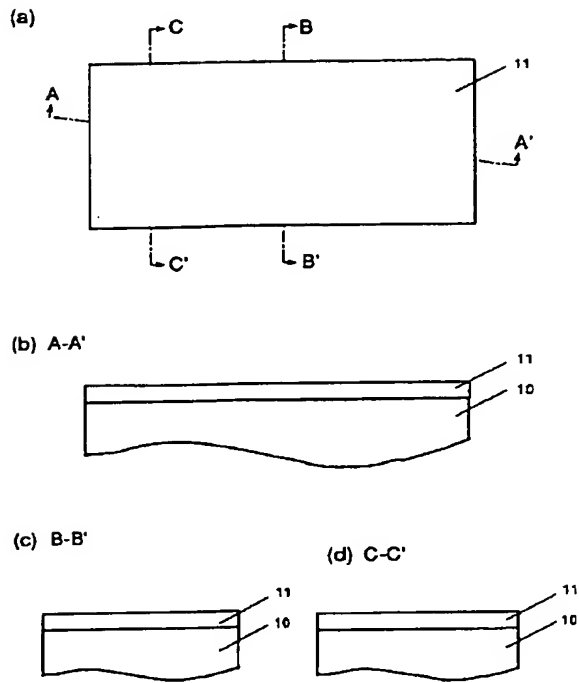
【図 6】

図 6



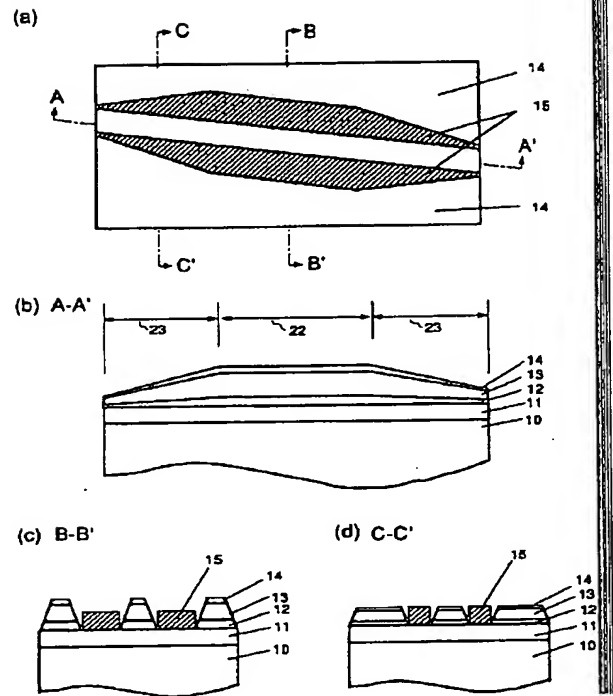
【図 7】

図 7



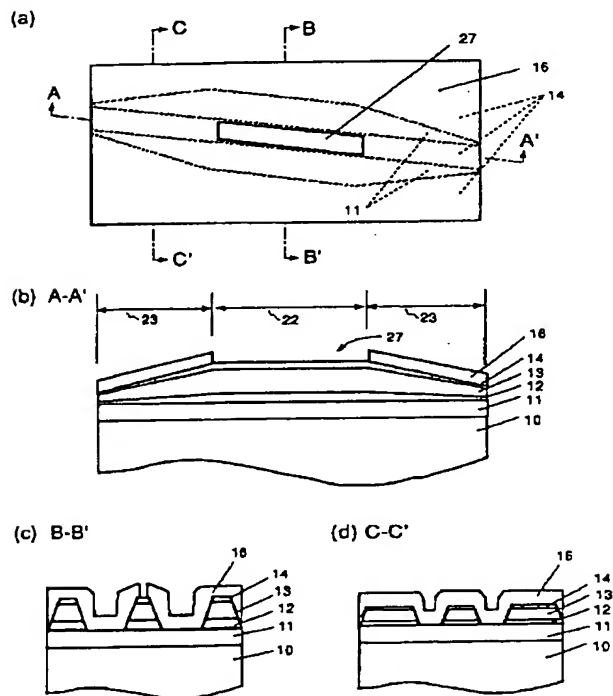
【図 8】

図 8



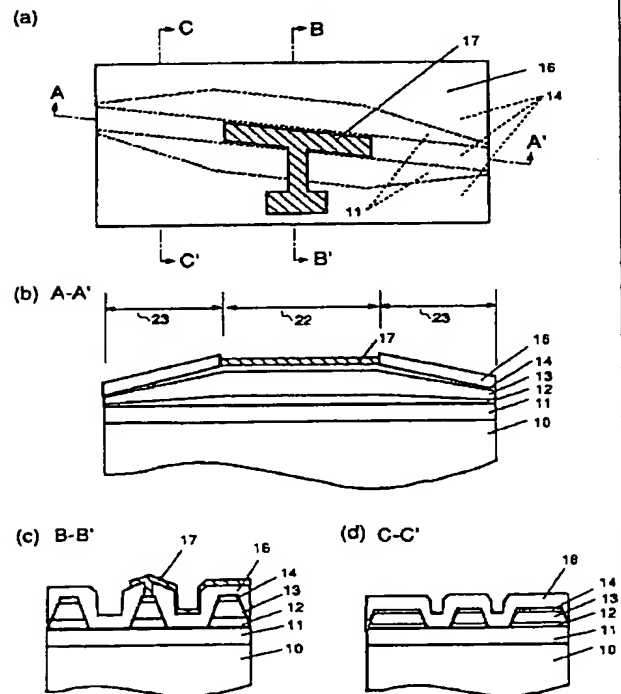
【図 9】

図 9

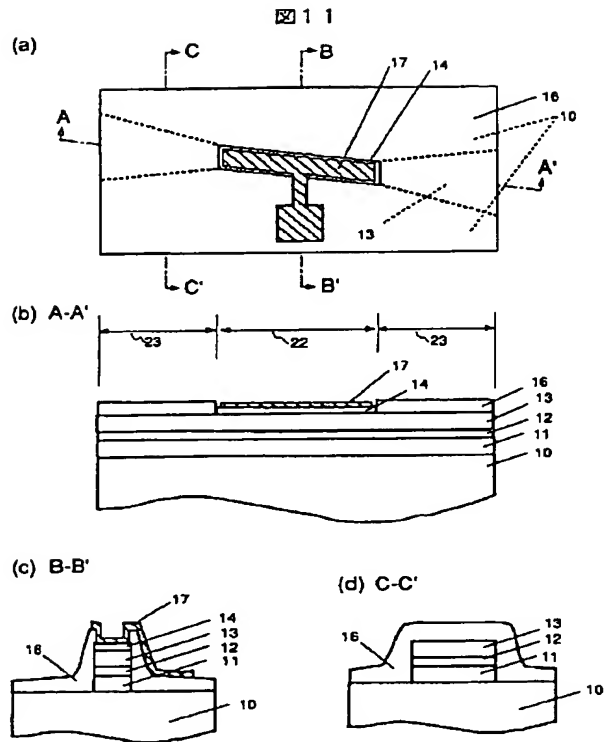


【図 10】

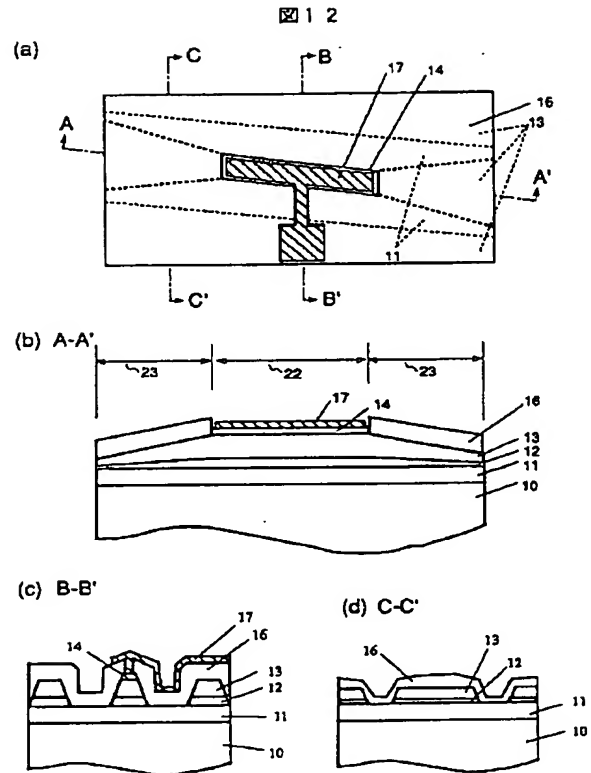
図 10



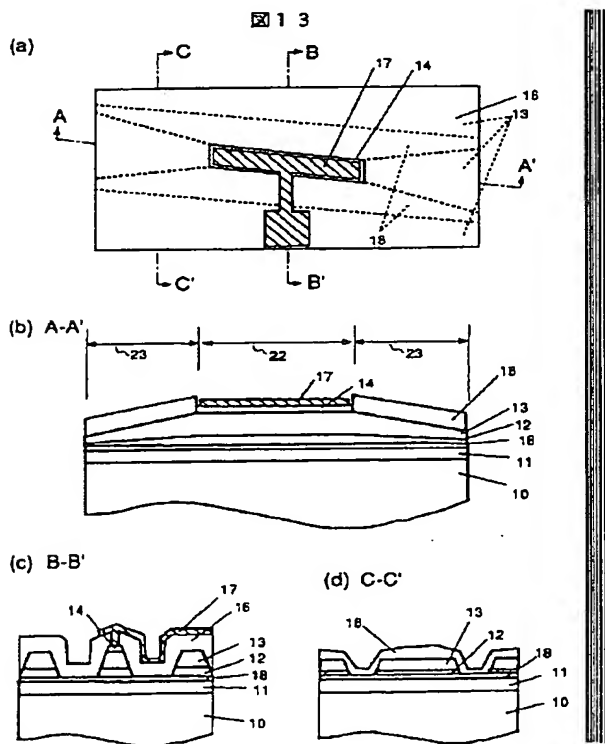
【図 11】



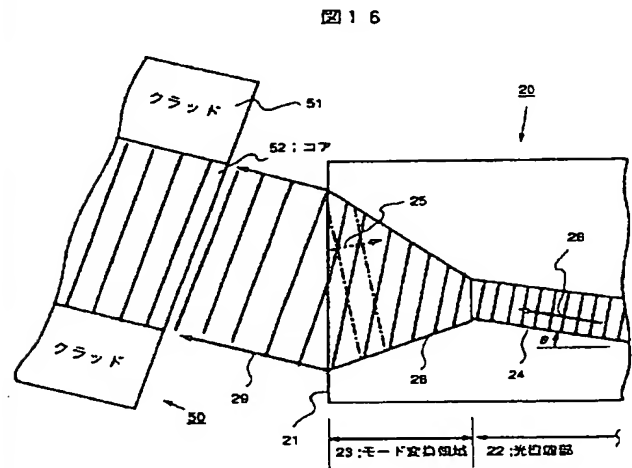
【図 12】



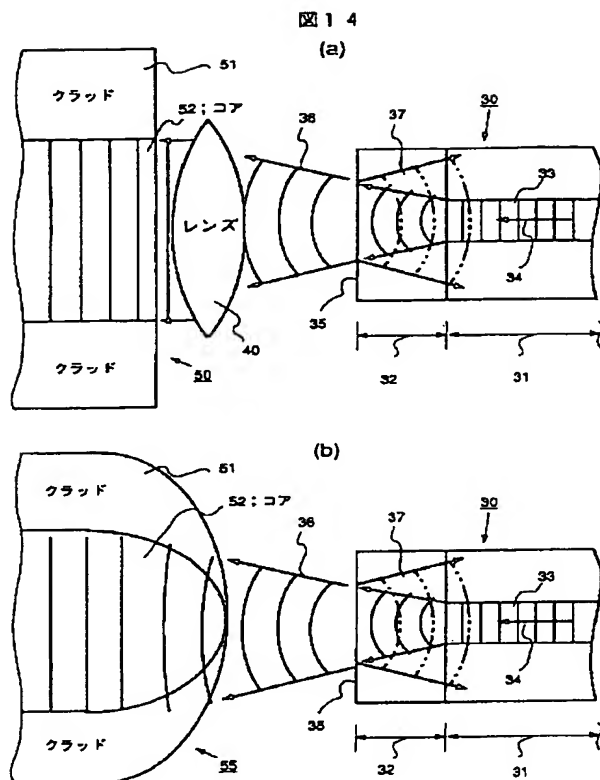
【図 13】



【図 16】

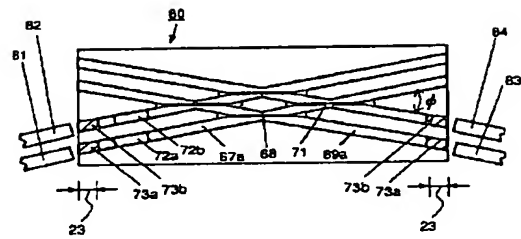


【図 14】



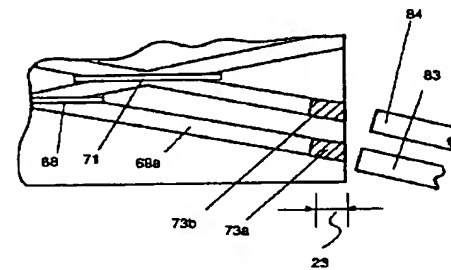
【図 17】

図 17



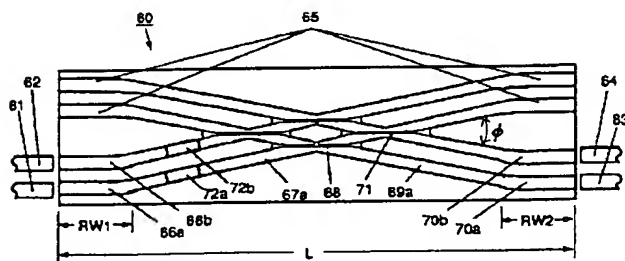
【図 20】

図 20



【図 18】

図 18



フロントページの続き

(72)発明者 大平 昌輝  
東京都国分寺市東恋ヶ窪 1 丁目 280 番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 鈴木 誠  
東京都国分寺市東恋ヶ窪 1 丁目 280 番地  
株式会社日立製作所中央研究所内  
(72)発明者 井上 宏明  
東京都国分寺市東恋ヶ窪 1 丁目 280 番地  
株式会社日立製作所中央研究所内